

Aide à la priorisation de bâtiments à rénover par le recours à la CND et à une analyse multicritère

F. TAILLANDIER^a, Z.M. SBARTAÏ^a

a. I2M-GCE, Université de Bordeaux, CNRS, INRA, 351 cours de la libération, 33405 Talence, cedex

Résumé :

La gestion des rénovations d'un parc patrimonial immobilier pose un problème décisionnel complexe. Pour répondre à ce problème, nous proposons une méthode d'évaluation et de priorisation des bâtiments d'un parc immobilier. L'évaluation reposera sur différents types de mesures : un examen visuel, le recours au contrôle non destructif (méthode rebond et méthode par ultrason) et des évaluations expertes. Au centre de cet article, se place les incertitudes et la robustesse des résultats obtenus. Afin de réduire la sensibilité de la méthode, nous avons recours à deux méthodes d'aide à la décision multicritère ELECTRE III et AHP sous une forme stochastique par l'adjonction de simulations Monte-Carlo. Cette approche est utilisée sur une partie du parc immobilier de l'université Bordeaux 1.

Abstract :

The Renovation management of a real property is a complex decision issue. To answer this issue, we propose a method to assess and prioritize building urgency belonging to a real estate property. The assessment is based on different types of measure: a visual inspection, the use of NDT techniques such as rebound hammer and ultrasound, and expert assessments. A centre point of the paper is the uncertainties and the robustness of results. To reduce method sensibility, we used two multicriteria decision-aid methods (ELECTRE III and AHP), into a stochastic form based on Monte-Carlo simulations. Our approach is implemented on a part of the real property of the Bordeaux 1 university.

Mots clefs : Aide à la décision – Rénovation – AHP – ELECTRE III – Simulation Monte-Carlo

1 Introduction

La gestion de la maintenance des bâtiments est une préoccupation majeure pour les gestionnaires de parc immobilier [1]. Lorsque les bâtiments ont atteint un état critique, il devient alors plus intéressant (économiquement et techniquement) de penser la maintenance en termes de rénovation globale que d'agir par des actions dispersées. Toutefois le choix des bâtiments sur lesquels intervenir en priorité pose un problème décisionnel complexe impliquant de considérer différents objectifs contradictoires (réduction du coût, qualité de service, etc.), des conséquences importantes et durables ainsi que des incertitudes nombreuses [3].

Nous proposons ainsi dans cet article une méthode d'aide à la décision permettant de prioriser les bâtiments d'un parc immobilier en vue d'une rénovation. Cela se fera par une évaluation de différents critères liés aux bâtiments. Cette évaluation est basée sur le couplage de trois approches : une auscultation visuelle, des contrôles non destructifs (CND) et une évaluation experte. Par le recours à des méthodes d'aide à la décision multicritères auxquelles sont adjointes une prise en compte des incertitudes via des simulations Monte-Carlo, nous pouvons proposer des résultats robustes. L'article s'appuiera sur un cas d'étude concret : l'Université de Bordeaux 1. Implanté sur une superficie d'environ 120 ha, le patrimoine immobilier de l'Université de Bordeaux 1 repose sur une soixantaine de bâtiments, totalisant plus de 240 000 m² (surface hors œuvre nette). Certains locaux datent de 1870, mais plus de 60 % des surfaces ont été construites au début des années 60, sans avoir reçu de rénovations depuis. L'Université de Bordeaux 1, devrait, grâce au plan Campus, bénéficier

d'un budget important afin de rénover son parc immobilier dans les prochaines années. Ainsi la question qui se pose pour la direction de l'Université est celle du choix des bâtiments à rénover en priorité. Notre article tâchera d'y répondre.

2 Définition des critères

Le choix des critères est un point fondamental de toute méthode d'aide à la décision. Il sera déterminant quant aux résultats. Plusieurs éléments sont à prendre en compte pour choisir des critères pertinents comme l'exhaustivité, la cohésion, et la redondance [4]. En concertation avec les gestionnaires du parc immobilier, cinq critères ont été retenus : le critère structurel, la sécurité, la consommation énergétique, le critère fonctionnel et le critère stratégique. Ces critères sont décomposés en sous critères qui permettent de les préciser et de rendre compte des techniques utilisées pour les obtenir.

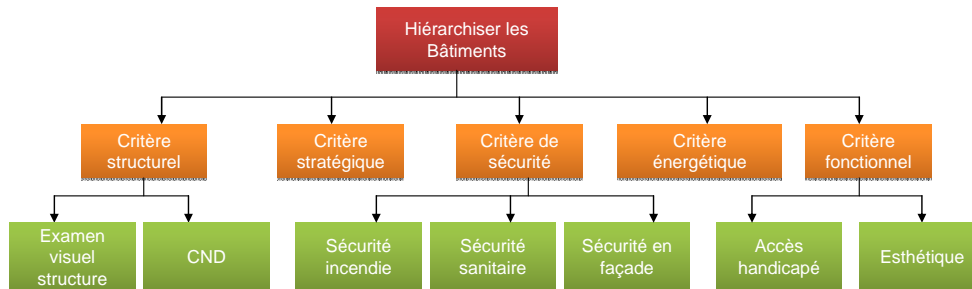


FIG. 1 - Arborescence des critères

2.1 Critère structurel

Les bâtiments retenus sont tous en béton armé. En raison de leur âge (environ 50 ans) et du déficit de maintenance, leur structure s'est dégradée. Les murs et ouvrages porteurs présentent des fissures et des éclatements locaux du béton. Cela est souvent accompagné de corrosion des armatures. Le critère structurel est basé sur deux sous-critères : l'état de la structure évaluée à partir d'un examen visuel et l'état de la structure à travers des mesures de contrôle non destructif (CND).

Le diagnostic visuel consiste à caractériser les types d'altérations et à les qualifier. Cinq états d'altération allant par importance croissante sont définis selon l'importance des éclatements et les fissures. Les défauts ont été relevés sur un carnet de bord pour tous les éléments structurels des bâtiments (poutre, poteau, voile) la situation, la position verticale, horizontale et son repère, la largeur, hauteur et le coefficient surfacique ainsi que la note d'état et l'origine de la dégradation. A partir de ces relevés, une note par bâtiment (SA) est calculée par (1).

$$SA = \sum_{i=0}^n \frac{\sum_{j=0}^{p_i} kij.Sdij}{Sti} \quad (1)$$

Avec kij la note attribuée au défaut j appartenant à l'élément i , $Sdij$ la surface affectée par le défaut j de l'élément i , Sti la surface total de l'élément i , n le nombre d'éléments dans le bâtiment et p_i le nombre de défaut de l'élément i . Les notes ici considérées sont construites sur une échelle cardinale allant de 0 à 10 (0 décrivant une surface présentant aucun défaut et 10, une surface entièrement altérée).

Pour une meilleure appréciation de la qualité du béton des bâtiments, un examen par techniques de CND a été effectué. Dans le cadre de cette étude, deux essais ont été mis en œuvre: l'essai rebond qui permet de mesurer la dureté de surface du béton et l'essai à ultrasons. Ce dernier consiste à mesurer la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore en transmission indirecte par couplage des deux transducteurs (200 KHz) sur la surface du béton. Les résultats de ces deux essais ont été normalisés selon un intervalle allant d'un matériau en bon état (valeur attribuée de 0) à un matériau très dégradé (valeur attribuée de 1). Les méthodes CND sont très intéressantes mais induisent une incertitude certaine. Afin de pouvoir la considérer, il est noté pour chacun des essais et chacun des bâtiments un écart type représentant la variabilité et l'incertitude sur les mesures.

2.2 Critère de sécurité

Les risques au niveau des bâtiments ont deux origines : la première est liée à l'état du bâtiment, la seconde est liée à l'activité supportée par le bâtiment. La sécurité est ainsi évaluée selon trois sous-critères : l'état des façades, la sécurité incendie et la sécurité sanitaire.

Les façades des bâtiments sont vieillissantes. Le décollement du béton peut provoquer des chutes de blocs de dimensions plus ou moins importantes. Cela représente un risque important pour les usagers. L'importance de ce risque est corrélé à l'état des éléments de façade et à la localisation de la détérioration - une dégradation située dans d'un lieu de passage représentera un risque plus élevé qu'une même dégradation située dans un endroit inaccessible. Pour évaluer les bâtiments sur ce critère, un diagnostic visuel a été réalisé. Pour chacune des façades, on relève les différents défauts et on les évalue selon trois indicateurs : la probabilité de chute, la dimension de l'élément menaçant de chuter et la situation de la façade. On obtient l'évaluation sur le critère de sécurité pour le bâtiment par (2).

$$FA = \sum_{i=1}^n Pi.Di.Si \quad (2)$$

Avec Pi, la probabilité pour le défaut i, Di la dimension pour le défaut i et Si l'impact pour le défaut i. Les FA sont construit sur une échelle cardinale allant de 0 à 10 (0 décrivant une façade ne présentant aucun risque et 10 un risque extrêmement élevé).

Supprimé :

L'évaluation de la sécurité incendie a été faite par un expert. Celui-ci a évalué chaque bâtiment par une échelle ordinaire allant de 0 à 10 ; 0 signifie que le bâtiment est parfaitement en règle et que le risque incendie est donc maîtrisé, 10 signifie à l'inverse qu'il n'y a aucun système de mise en sécurité incendie.

Il existe dans les bâtiments différents risques liés à l'aspect sanitaire. On recense ainsi des risques liés à l'amiante, au plomb, à la légionnelle... En plus de cela, l'université comportant des laboratoires de chimie, de physique et de biologie, possède des risques sanitaires spécifiques. Certains des bâtiments étudiés ne présentent aucun risque à ce niveau (aucun laboratoire ou salle d'expérimentation et autres risques sanitaires maîtrisés), alors que d'autres sont très critiques vis à vis de ce point. La rénovation peut être ainsi l'occasion d'apporter de nouveaux équipements permettant de réduire ces risques. Ainsi, l'évaluation se fera de façon experte agrégeant les différents risques sanitaires. Une note de 0 correspondra donc à un risque absent ou maîtrisé. Une note de 10 à l'inverse indiquera un risque grave relatif à ce domaine.

2.3 Critère stratégique

Les bâtiments étudiés ont des usages divers : enseignement, recherche, administration. Dans ces mêmes usages, certains bâtiments sont indispensables pour le fonctionnement de l'université (ceux possédant de grands amphis par exemple) alors que d'autres peuvent être plus facilement remplacés. Le critère stratégique correspond à la valeur du bâtiment sous plusieurs aspects : l'aspect économique (valeur en termes de financement), l'aspect d'usage (activités dispensées dans les locaux -recherche, administration, enseignement...) et l'aspect politique (enjeu du bâtiment aussi bien en termes de choix politique que de développement du secteur du bâtiment). Le responsable du parc immobilier de l'université a noté sur la base de ces trois aspects, le critère stratégique. Une note de 0 indique une importance stratégique très limitée. A l'inverse, une note de 10 indique une grande importance stratégique du bâtiment.

Supprimé : L'aspect

2.4 Critère fonctionnel

Le critère fonctionnel concerne deux aspects affectant la fonction ou l'image renvoyé par le bâtiment : l'esthétique et l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite. L'aspect esthétique des bâtiments a un rôle dans la communication de l'université. En effet, des bâtiments à l'aspect moderne, propre et bien entretenu sont incitatifs pour les futurs étudiants et motivants pour les actuels étudiants. Pour ce critère, 0 désigne une esthétique excellente et 10, une esthétique très mauvaise.

La réglementation française exige que les lieux recevant du public soient équipés pour recevoir des personnes à mobilité réduite (loi du 11 février 2005 pour « l'égalité des Droits et des Chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées »). Une note de 0 indique le bâtiment respecte la loi quant à ce critère. Une note de 10 indique qu'il n'est pas du tout conforme au règlement (aucun accès pour les personnes à mobilité réduite).

Supprimé : ¶

Mise en forme :
Puces et numéros

2.5 Critère énergétique

La hausse constante du coût de l'énergie et les impératifs environnementaux font aujourd'hui de la performance énergétique un enjeu de premier plan pour l'ensemble des secteurs économiques. L'Université est malgré elle un bon exemple de l'accroissement des coûts énergétiques à cause de l'isolation médiocre des enveloppes des bâtiments. Les systèmes de chauffage étant comparables pour l'ensemble des bâtiments étudiés, nous nous sommes intéressés ici aux déperditions de chaleur. Cette évaluation est basée sur des thermographies des toitures des bâtiments ; par hypothèse, on a supposé qu'elles étaient représentatives des déperditions globales du bâtiment. Cette thermographie proposait six couleurs différentes correspondant à six niveaux de déperditions différents. La valeur de chaque bâtiment sur ce critère a été calculée avec (3).

$$EC = \sum_{i=1}^6 S_i.N_i \quad (3)$$

Avec : S_i est la surface concernée par le niveau de déperdition i , N_i la note correspondante au niveau de déperdition i . Cette évaluation est construite sur une échelle cardinale bornée entre 0 et 10 (échelle identique à celle du niveau de déperdition).

3 Méthodologie de priorisation

Il existe beaucoup de méthodes d'aide à la décision multicritère permettant de prioriser des alternatives (les alternatives étant ici les différents bâtiments possibles). L'un des points primordiaux en analyse multicritère est d'aboutir à une décision robuste [5]. L'analyse de robustesse consiste à choisir un jeu acceptable de valeur de paramètres afin de mesurer l'impact de ceux-ci sur le résultat final. On pourrait ajouter aux valeurs de paramètre, l'influence des incertitudes sur les données. On peut donc s'intéresser aux résultats induits par des variations de données et de paramètres. Cela permet d'aboutir à des conclusions plus nuancées sur la décision. Afin d'arriver aux résultats les plus robustes possibles, trois types d'incertitudes ont été considérés :

- Incertitude sur les données : les données recueillies ne sont pas parfaites ; beaucoup d'entre elles peuvent se montrer imprécises.
- Incertitudes sur les paramètres : quelque soit la méthode utilisée, on a recours à des paramètres (pondérations, seuils, etc.). Or ces paramètres peuvent être difficiles à définir.
- Incertitudes sur la méthode : le choix de la méthode d'aide à la décision a une influence importante sur le résultat [6].

Pour traiter les deux premiers points, des simulations Monte-Carlo ont été utilisées. Pour chacune des données et chaque paramètre une loi de distribution correspondant aux différentes valeurs que celui-ci peut potentiellement prendre a été retenue. Les choix des plages de valeurs ainsi que des lois de distribution ont fait l'objet d'une vraie réflexion. Elles sont spécifiques à chaque paramètre et à chaque donnée en concertation avec les acteurs concernés par cette valeur (décideur, expert...).

Un grand nombre de tirages ont été réalisés afin de déterminer les différents classements possibles pouvant être obtenus. Afin de limiter l'influence de la méthode, deux méthodes différentes ont été retenues : ELECTRE III [7] et AHP [8]. Ces méthodes appartiennent à des familles différentes de méthodes multicritères [9]. Elles ont été employées pour résoudre de très nombreux problèmes d'agrégation multicritères. On peut citer en exemple pour ELECTRE III : choix d'un système énergétique décentralisé [10], localisation d'une décharge [11] et pour AHP : service hospitalier [12], emplacements des casernes de pompier [13].

La méthode ELECTRE III utilise deux approches de classement (ascendante ou descendante). Dans l'utilisation d'ELECTRE III, il est normalement réalisé un classement en fusionnant ces deux approches. Cela permet de départager un certain nombre d'égalité entre alternatives. Dans notre méthode ces deux approches ont été gardées afin de mieux pouvoir analyser leurs résultats ; cela est une modification du processus normale de la méthode mais permet d'avoir un nouveau regard sur celle-ci. La méthode AHP est normalement utilisée avec l'échelle de Saaty permettant de donner des valeurs aux comparaisons par pair des alternatives et des critères (importance de chaque critère). Ce système a été utilisé directement pour les pondérations des critères. Pour les valeurs des bâtiments sur chaque critère, des tables ont été construites (une par critère) pour transformer les évaluations données dans la partie 2 en évaluations compatibles avec l'échelle de Saaty.

Supprimé : ¶

Mise en forme :
Puces et numéros

Supprimé : s

Supprimé : le

Ainsi, trois résultats issus des deux méthodes de hiérarchisation sont obtenus : ELECTRE Ascendant, ELECTRE Descendant et AHP.

4 Résultats

La méthode utilisée donne un grand nombre de résultat (un par tirage et par méthode - 300 000 tirages ont été réalisés). La méthode choisie pour obtenir un classement final est basée sur un score global (4).

$$Score = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{12} (12 - i) \cdot N_{bij} \tag{4}$$

Avec N_{bij} : Nombre de résultat pour la méthode j ($j=1$: ELECTRE III Asc, $j=2$: ELECTRE III desc, $j=3$: AHP) et pour une position i .

Cela signifie que l'on attribue un score de 11 pour une première place et un score de 0 pour une douzième place. On calcule l'ensemble des points obtenus sur les trois méthodes. Plus un bâtiment recueillera de points, plus il sera considéré comme prioritaire. Les résultats finaux sont donnés dans la figure 2.

Supprimé : Ainsi,
Supprimé :

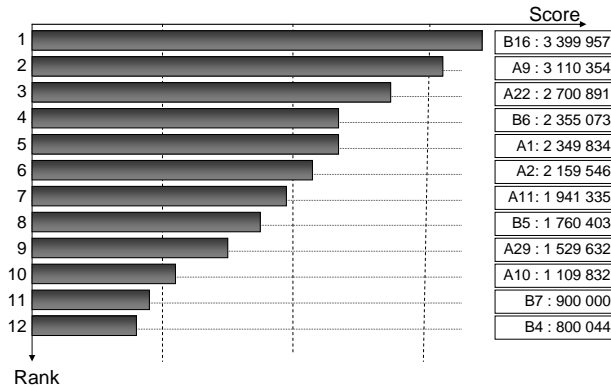


FIG. 2 - Résultats finaux (scores de priorité).

Trois bâtiments se détachent : B16, A9 et A22. La figure 3 donne pour ces quatre bâtiments, pour les 300 000 tirages, la répartition des résultats par méthode.

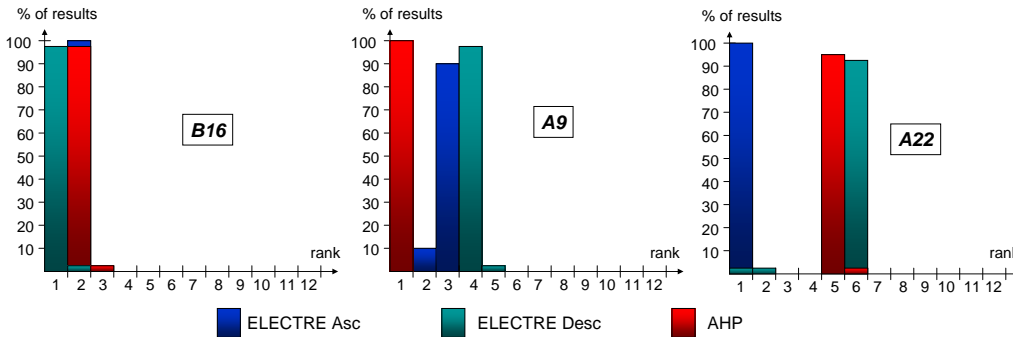


FIG. 3- Places obtenues par les trois bâtiments les plus prioritaires.

Selon la méthode, les bâtiments jugés les plus urgents ne sont pas les mêmes : le bâtiment le plus urgent est d'après ELECTRE Desc le bâtiment B16, pour ELECTRE Asc, le bâtiment A22 et pour AHP, le bâtiment A9. On valide ainsi bien l'hypothèse de la variabilité des résultats selon la méthode choisie. Cela argumente le choix du recours à plusieurs méthodes en simultanée. Pour l'ensemble de ces trois méthodes, le bâtiment B16 se classe dans plus de 99,99% des cas dans les deux premières places ; il pourrait être placé à la première place. Il y a aussi une variabilité des résultats en fonction des tirages (et donc des paramètres) pour une même méthode, même si elle reste assez limitée pour les bâtiments A9, A22 et B16. En revanche, cette

variabilité est plus importante pour d'autres bâtiments (par exemple, le A29, figure 4).

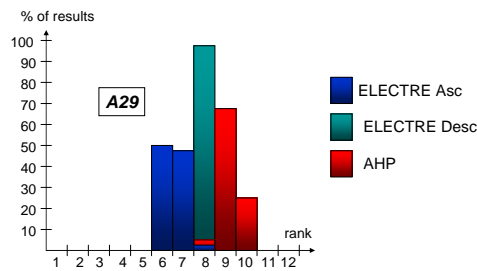


FIG. 4 - Places obtenues par le bâtiment A29.

Ainsi, le recours à des simulations Monte Carlo a un double intérêt. Pour les bâtiments présentant peu de variabilité sur les tirages, elle permet de démontrer que l'on a des résultats robustes. Pour les bâtiments dont les résultats sont répartis sur plusieurs positions, elles permettent d'apporter des conclusions plus nuancées et donc plus justes.

5 Conclusion

Nous avons proposé dans cet article une approche pour définir une priorisation des bâtiments d'un parc immobilier. Cette approche est basée sur une analyse multicritère permettant d'intégrer différentes sources d'informations (diagnostic visuel, méthodes CND, évaluation expertes). L'approche d'aide à la décision retenue met en jeu deux méthodes multicritères ELECTRE III et AHP. Ce couplage, complété par le recours aux simulations Monte Carlo, a permis d'obtenir des résultats robustes. Cet article a montré que cette robustesse est importante dans ce domaine car les données peuvent être imprécises et les méthodes elle-même (de par leur nature ou de par leurs paramètres) peuvent influencer le résultat. Ainsi par cette approche nous avons pu assurer une plus grande robustesse des résultats.

6 Bibliographie

- [1] Taillandier F., Sauce G., Bonetto R., Risk-based investment trade-off related to building facility management, *Reliability Engineering & System Safety*, 94, 785-795, 2009.
- [2] Bonetto R., Sauce G., *Gestion du patrimoine immobilier – Les activités de références*, Editions CSTB, 2006.
- [3] Keeney, R. L., *Decision analysis: an overview*, *Operation Research*, vol. 30, 803–838, 1982.
- [4] Roy B., *Decision-Aiding Today: What Should We Expect*, dans Gal T. J., Hanne T., *Multicriteria Decision Making*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1.1-1.35, 1999.
- [5] Roy B., *Robustness in operational research and decision aiding: A multi-faceted issue*, *European Journal of Operational Research*, 200 (3), pp. 629-638, 2010.
- [6] Zanakis S. H., Solomon A., Wishart N., & Dublisch, S., *Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods*, *European Journal of Operational Research*, 107, 507-529, 1998.
- [7] Roy, B., *The outranking approach and the foundations of electre methods*, *Theory and Decision*, 31, 49-73, 1991.
- [8] Saaty T. L., *How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process*, *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26, 1990.
- [9] Keun Tae C., *Multicriteria decision methods: An attempt to evaluate and unify*. *Mathematical and Computer Modelling*, 37, 1099-1119, 2003.
- [10] Papadopoulos A., Karagiannidis A., *Application of the multi-criteria analysis method Electre III for the optimisation of decentralised energy systems*, *Omega*, 36 (5), 766-776, 2008.
- [11] Norese M.F., *ELECTRE III as a support for participatory decision-making on the localisation of waste-treatment plants*, *Land Use Policy*, 23 (1), 76-85, 2006.
- [12] Büyükoçkan G., Çifçi G., & Güleriyüz S., *Strategic analysis of healthcare service quality using fuzzy AHP methodology*, *Expert Systems with Applications*, 38 (8), 9407-9424, 2011.
- [13] Wei L, Li H.L., Liu Q., Chen J.Y., Cui Y.J., *Study and implementation of fire sites planning based on GIS and AHP*, *Procedia Engineering*, 11, 486-495, 2011.

Mis en forme :
Espace Après : 0 pt

Mis en forme :
Anglais Royaume-Uni